磁気コアを用いた簡単な乗算回路に関する基礎研究

八　木　　寛
高　安　　真

On the simplified digital computer multiplier circuit used magnetic Cores

Hiroshi YAGI
Makoto TAKAYASU

This report stated the digital computer multiplier could be simplified by use of the matrices of the magnetic cores.

We owed it to sticks abacus method by the chinese, Mr. Yui Chien Shan that it was realizable. It was calculated by making use of slight sticks group as multiplicand and multiplier respectively. For each number we made the sticks according to the number cross on the plane and we checked the number of cross point in each digit.

1. は じ め に

近年の科学技術のめざましい発達のかげにデイジタル電子計算機のはたす役割の大なるものがある。経済社会の複雑化にともないデイジタル電子計算機に対する要求も，より高速化，より大型化，より使用しやすくすることなどと大変難しくなってきている。これらの難しい要求を満たすには，演算時間を速くするとか，演算方式を改良するとか，安価な素子を開発するとかの手段をとらねばならない。その意味で，現在のデイジタル計算機はまだまだ満足できるものではない。

本研究では，中国人，干振善（ユイ・チエン・シヤン）の考案による棒珠算法をデイジタル計算機の乗算方式に応用することにより，乗算回路をマトリクス化することができることをしめし，その応用として磁気コアマトリクスにより安定にして，安価な乗算回路が得られることをしめす。磁気コアは小型にして，信頼度が高いので，今後，大いに受入れられるであろう。本方法にしたがえば，乗算回路の構成が簡単になり，シフト速度を速くすることができる。

2. 本方法による乗算方式

デイジタル計算機の乗算方式には，いろいろな方法があるが，2進法乗算方式では，表1のように，4種

		乗数	
		0	1
被乗数	0	0	0
	1	0	1

表1　2進法の乗算表

の積が定義されるだけで，10進法のそれのように，桁上げが生じない。しかし，問題は部分積を加える際に生じる。たとえば，1111×1101の積を作るとき，11000011を得るのであるが，図1から明らかなように，部分積A，B，C，Dは対応する乗数ビットが0か1かにしたがって，0000か1111になっている。このようにして得られた部分積を加えるには，普通，最下位の桁から1桁ずつ部分積の各ビットを加算する方法と部分積を1度に加算する方法によって積を得るものである。前者をくり返し加算方式，後者を同時加算方式乗算器という。前者は安価であるが，加算時間がかかり，後者は高速であるが，装置が複雑になり高価になるき

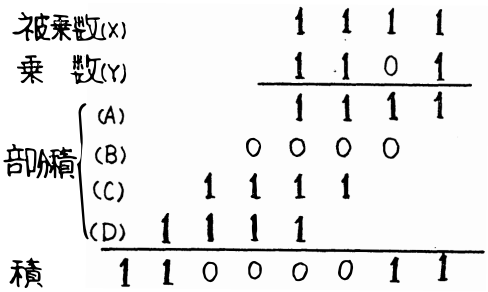

図1 乗 算 例

らいがある。そこで，本方法にしたがえば，安価にして高速化された乗算回路が得られることを以下にしめす。

2—1 本方法の動作原理

千振善の考案になる棒珠計算法とは，1つのソロバン，1束の細い棒（竹ひご）および1つのソロバン大の板からできている棒珠計算器を用い，加減算はもとより，乗除法，平方，開平を加減法だけで行なう計算法である。

例えば，3124×2113を棒珠計算法で行なうと，次のように6601012 を得る。この様子を図2にしめす。被

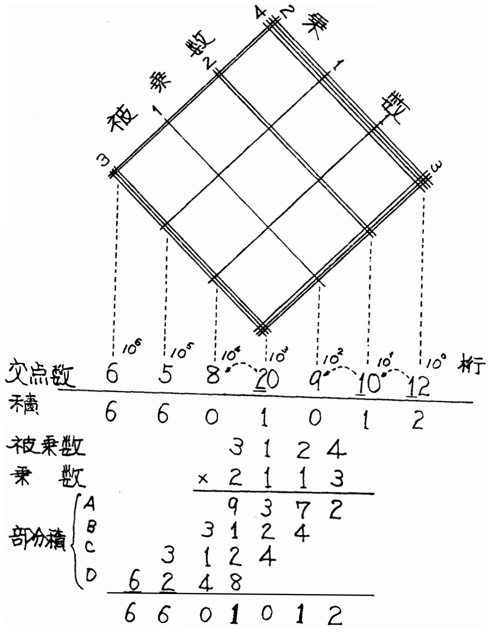

図2 棒珠計算法の説明図

乗数と乗数の各数はそれに相当する数の棒で代用し，図2のように，各桁ごとにならべ，その交点の数を数え，その数が9を越せば桁上りをさせる。これを2進法におきかえてみると，図3のようになる。2進法の

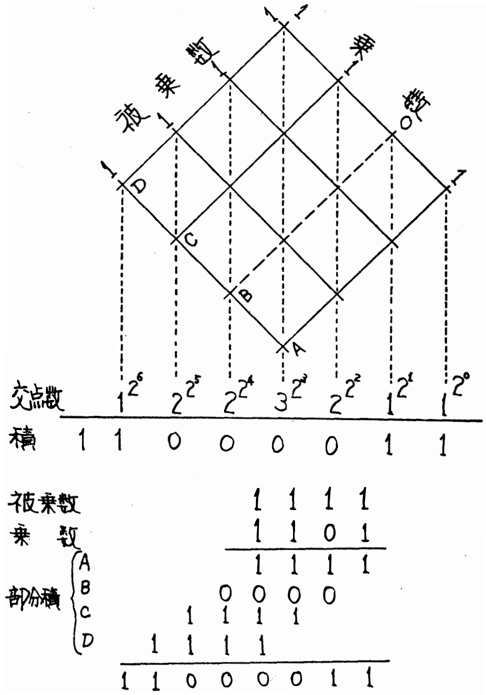

図3 2進法による棒珠計算法

場合，各桁の積は1または0であるので，各桁のみの交点の数も1か0個のいずれかであるので10進法の場合よりはるかに簡単になる。しかし，部分積の和を求めるにあたり，交点の数が2以上のときは桁上げの問題が生ずる。このことを乗算の基礎にもどって考えて

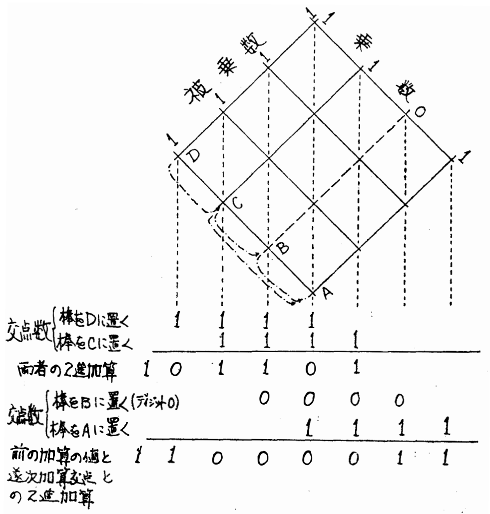

図4 棒珠計算のシフト機構

みると，乗算とはシフトと加算より成り立っていることがわかる。この点で，図３の２進乗算の例をシフトの立場からみると，図４のように，仮りに，棒の位置をＤからＣに移すと交点の位置は１桁右にシフトされる。このＤとＣの場合の交点を縦に２進加算すれば部分和が得られる。さらに，棒をＣからＢに移すと，さらに１桁シフトされるわけである。ところが，図４の例ではＢの棒のビットが０であるので，Ｂを飛びＡに移している。このときの交点数を前同様さきの部分和に加算する。これから明らかな通り，１本の棒を乗数にしたがってシフトするだけで良い。このシフト機構にはデイジタル計算機のシフト回路を用いることができる。

2—2　磁気コアマトリクスによる乗算方式

棒珠計算法を乗算方式に応用するにあたり2—1で述べた棒の交点を検出しなければならない。つまり，この交点とはデイジットの積である。つまり，この交点はＡＮＤ回路で実現できる。

簡単なＡＮＤ回路に矩形ヒステリシスを持った磁気コアがある。磁気コアは一般に計算機では高速記憶素子として用いられている。このような種類の磁気コアは図５のようにヒステリシス 曲線の 形状が 矩形であ

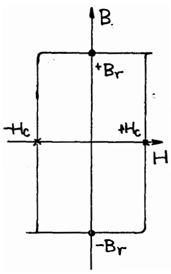

図5 磁気コア特性

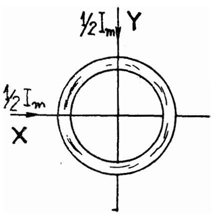

図6 磁気コア駆動法

る。残留磁束密度が　$-$Br，　$+$Br　にある磁気コアに正または負方向の磁界Ｈを外部から加えれば，残留磁束密度の　$-$Br($+$Br)　から　$+$Br($-$Br)　へと反転し，その際磁気コアに巻かれている線輪に電圧が誘起される。ところで，ここで供給外部磁界Ｈを

$$Hc/2 < H < Hc$$

に選び，このＨに相当する電流　Im/2　を図６のＸ，Ｙに流す。この場合　,Im/2　をそれぞれ　Ｘ，Ｙ　に流したとき１，流さない場合を０とすれば，残留磁束密度の反転が起った場合，起らない場合をそれぞれ１，０に対応させて，表１の動作がなされることがわかる。このことから磁気コアはＡＮＤ回路素子として用いることができる。

この磁気コアＡＮＤ回路を棒珠計算法の交点検出に応用する。先に記した２進法の例について考えてみると図７のようになる。このような構成を磁気コアマト

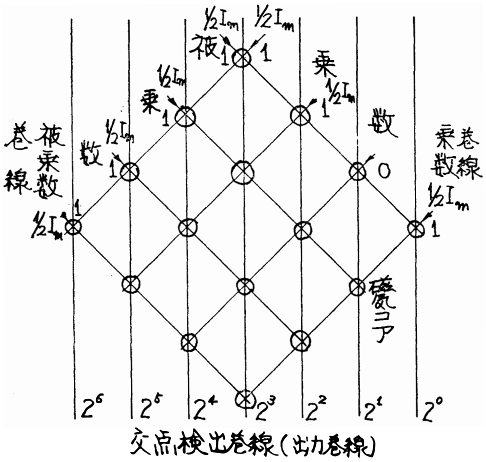

図7　磁気コアマトリクスの実現

リクスという。乗数巻線と被乗数巻線の他に縦の巻線があるが，これは交点検出のための出力巻線である。この方法では，計算する前に各磁気コアは定められた方向の残留磁束にあるよう set しておくものとする。この磁束密度の変化した磁気コアからの出力を各桁ごとに加算すればよい。しかし，このままでは出力検出は交点が１個の場合も２個以上の場合も同等に処理して，交点数が計算できなくなるので，2—1でのべたと同様にシフト回路によりその難点を避ける。巻線は図７と同様にしておき，被乗数にしたがい，各桁の１に匹敵する巻線には　Im/2　を流しておき，乗数にしたがいそれに類する巻線のうち１がある桁にのみ　Im/2　電流を流して磁束密度の反転をはかる。ある桁の処理が終了すると次の上位桁の処理へと左へシフトしてゆく。このようにして，磁気コアマトリクスのみによりシフト回路構成ができる。

このような磁気コアマトリクスを用いて，同時乗算器を構成すると図８のようになる。また，磁気コアを用いて２倍回路，５倍回路など構成させても，磁気コア自体が大変安価なので 計算機に とっては 良好である。

3．実　　験

本装置の心臓部とでもいうべきものは磁気コアである。磁気コアについての充分な研究がなされていなければ，乗算器として構成させたとき誤動作をなすもの

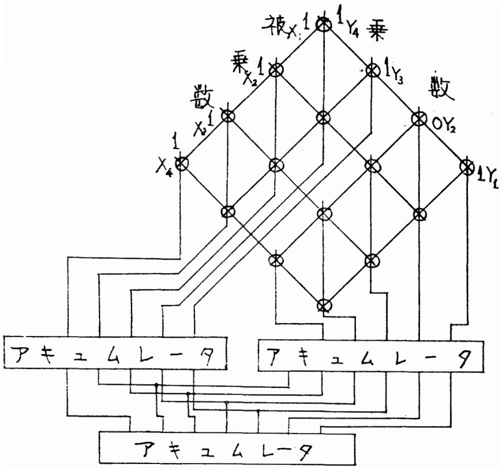

図8　磁気コア同時乗算器

となる。
実験によって得られたデータを図９，図10，図11にしめす。

図９には駆動信号電流の大きさに対する出力信号の大きさがバイアス電流をパラメータにして測られたものをしめし，これから，乗数入力があるとき，被乗数

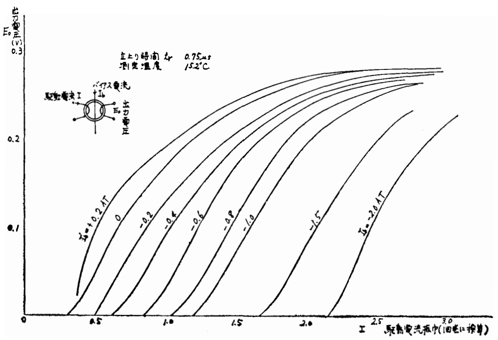

図9　駆動電流と出力電圧の関係

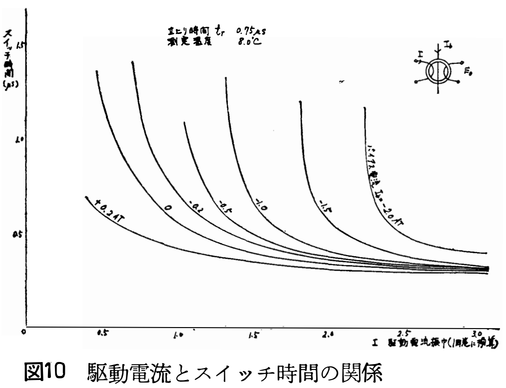

図10　駆動電流とスイッチ時間の関係

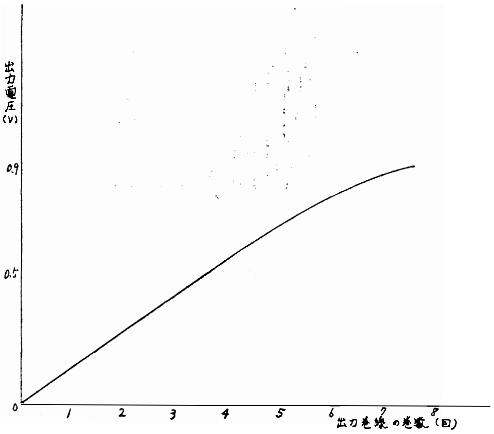

図11　出力巻線と出力電圧の関係

入力にどんな大きさの入力があると，出力がどうなるかの検討ができる。

図10には駆動信号電流の大きさに対する出力信号のスイッチ時間を測定したものがしめされている。これにより，本方法によるスイッチング時間，しいては，計算時間の算定ができる。これによれば，駆動信号電流を大にすれば，スイッチング時間は短縮できるが，ある程度，これによれば0.3ns 程度に限度があることがしられる。バイアス電流も図９とかねあわせて考えると，正方向で大ならば同一駆動信号のとき，出力も増やせるし，スイッチング時間も短縮できる。

図11には出力巻線数と出力電圧の関係がしめされている。これによれば出力電圧はある限度以上，いかに出力巻線数を増やしても増加しない値があり，巻線数が増えると線間容量などを招き，かえって不利な面も少なくないので適当な値に選らばるべきである。

図12には，実験に使用された回路図がしめされている。

4. む す び

棒珠計算法を磁気コアを用いて実現するときわめて簡単な乗算回路が得られることが確認された。それは磁気コアを用いてマトリクス化された乗算部が簡単になったためである。本方法にしたがえば，安価な乗算回路が得られるので，２倍，３倍，５倍回路を構成して計算機に組み込んでおいても良いものが得られる。

最後に常日頃，お世話になっている本学四谷教授に厚くお礼申し上げます。

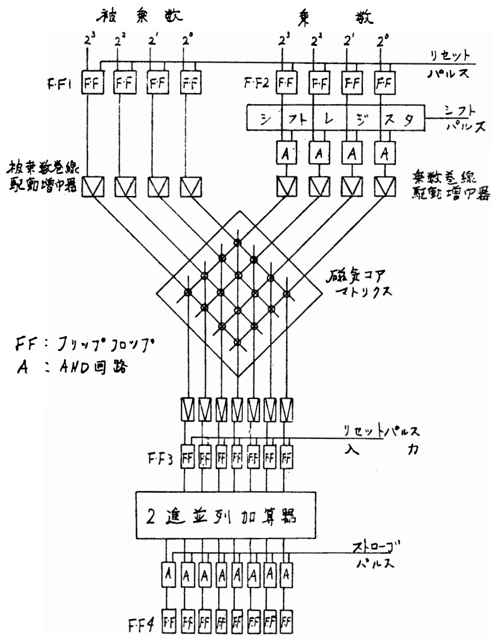

図12　実験に用いられた乗算回路

参照文献

1. R. K. Richards: Arithmetic operation in digital computer. D. Van Nostrand. (1958)
2. 朝日新聞社 ： 朝日科学. 1962. 12
3. 石川義興 ： フエライトとその応用. オーム社.
4. R. K. Richards : Digital comput ercomponents circuit. V. VonNostrand. (1957)
5. 高田昇平他 ： 試作磁心マトリクス記憶装置について. 電通誌. Vol. 42, No. 11. (1959). pp. 1059～

(昭和41.10.31受付)